

DOI: 10.5604/01.3001.0010.4848

## WDROŻENIE SYSTEMU WWS WARUNKIEM ROZWOJU ELEKTROMOBILNOŚCI

Krzysztof Polakowski

Politechnika Warszawska, Instytut Maszyn Elektrycznych, Zakład Konstrukcji Urządzeń Elektrycznych

**Streszczenie.** Narasta szybko negatywny wpływ na ekosystem skutków emisji toksycznych spalin stosowanych w transporcie samochodowym silników spalinowych. Abstrahując od problemów związanych z zanieczyszczaniem atmosfery oraz środowiska naturalnego na etapie wydobywania, transportu i przetwarzania ciekłych i gazowych węglowodorowych paliw kopalnych, największy problem związany jest z masowym zatrutowaniem atmosfery produktami wydobywającymi się z rur wydechowych wszystkich (lądowych, morskich i powietrznych) środków transportu. Napęd elektryczny może być skutecznym remedium na te negatywne skutki. Silniki elektryczne są praktycznie bezemisyjne a pod względem sprawności w procesie zamiany energii elektrycznej na mechaniczną trzykrotnie przewyższają silniki cieplne. Aby elektryczne środki transportu były w pełni ekologiczne energia niezbędna do ładowania ich zasobników energii, w formie akumulatorów elektrochemicznych, musi pochodzić z odnawialnych źródeł energii. Podstawowym warunkiem rozwoju elektromobilności jest konieczność powszechnego i szybkiego przejścia na produkcję energii elektrycznej z bezemisyjnych odnawialnych źródeł: wiatru, wody i słońca. Opublikowane (przez jeden z wiodących na świecie ośrodków naukowych) wyniki badań i analiz pokazują, że jest realna szansa stworzenia alternatywnego (w stosunku do tradycyjnego systemu wytwarzania energii elektrycznej, opartego głównie na elektrowniach ciepłych spalających paliwa), nowego bezemisyjnego systemu WWS (Wiatr, Woda, Słońce), bazującego na wykorzystaniu energii zawartej w wietrze, wodzie i promieniowaniu słonecznym. Z przedstawionych danych wynika, że istnieje realna szansa przejścia na system WWS w perspektywie 30 – 50 lat.

**Słowa kluczowe:** elektromobilność, samochód elektryczny, system WWS

### IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM WWS IS THE REQUIREMENT IN DEVELOPMENT OF ELECTROMOBILITY

**Abstract.** Rapidly is growing negative impact of toxic emissions of internal combustion engines (used in road transport), on the ecosystem. Apart from the problems associated with air pollution and the environment at the stage of extraction, transport and processing of liquid and gaseous hydrocarbon fossil fuels, the biggest problem is with the mass poisoning the atmosphere by products emanating from the exhaust pipes of all (land, sea and air) means of transport. Electric drive can be an effective remedy for these negative effects. Electric motors are practically emission-free and in terms of efficiency, in the conversion electrical energy into mechanical, three times superior to heat engines. In order electric trucks have been fully ecological, energy required to charge the energy containers, in the form of electrochemical batteries, must come from renewable energy sources. The basic condition for the development of electromobility based on the electric car is the need for widespread and rapid transition to production of electricity from carbon-free renewable energy sources: wind, water and sun. Published (by one of the world's leading scientific centers) results of research and analyses show that there is a real chance to create an alternative (to the traditional system of generating electricity, based mainly on thermal power plants burning fuels), the new zero-emission system WWS (Wind, Water, Sun), based on the use of the energy contained in the wind, flowing water, and solar radiation. The presented data show that there is a real chance of transition to WWS in the next 30 – 50 years.

**Keywords:** electromobility, electric car, the WWS system

### Wstęp

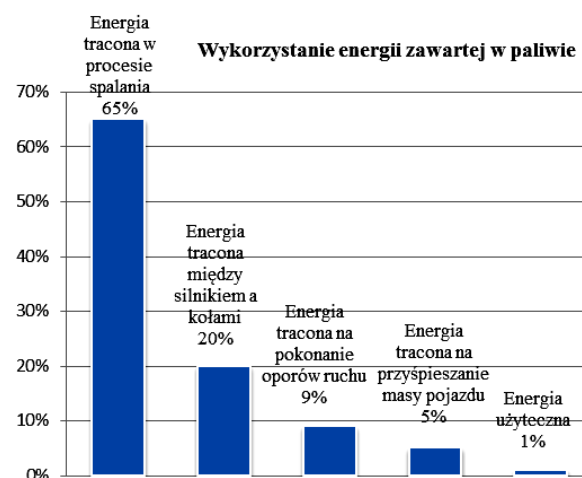
Obecnie światowy transport samochodowy (i nie tylko) jest odpowiedzialny w dużym stopniu za poważne zatrucie atmosfery, ponieważ wykorzystuje wyjątkowo nieekologiczny i mało sprawny silnik spalinowy, emitujący do atmosfery duże ilości szkodliwych produktów spalania. Zaliczyć do nich należy przede wszystkim: tlenki: azotu, węgla, siarki i niespalone węglowodory (a do niedawna powszechnie stosowane w produkcji paliw związki ołowiu). W wielu opublikowanych wynikach badań wykazano, że zagrażają one zdrowiu a nawet życiu człowieka. Ocenia się, że w USA w roku 2013 w odniesieniu do 53000 zgonów, jako ich przyczynę należy uznać negatywne oddziaływanie spalin samochodowych na organizm ludzki [2]. Substancje te nie tylko zatrują powietrze, którym oddychamy, ale również powodują efekt tzw. kwaśnych deszczów, które zagrażają florze i faunie na całej Ziemi oraz nie mniej groźny efekt cieplarniany.

Ograniczenie emisji spalin w pojazdach byłoby bardzo korzystne w procesie ochrony przed ich negatywnym oddziaływaniem na atmosferę i całe naturalne środowisko. Jest to jednak bardzo trudne zadanie do realizacji. Pomimo ponad 130 letniego udoskonalania ciepły silnik spalinowy jest nadal zaskakująco nieefektywny pod względem energetycznym (rys. 1). W efekcie musi spalać dużo paliwa i z tego powodu emitować duże ilości szkodliwych spalin.

Można zadać pytanie, czy nie podjęto starań, żeby zmienić tak niekorzystną sytuację? Odpowiedź jest twierdząca. W roku 1993 w USA powołano Konsorcjum na rzecz Pojazdów nowej Generacji PNGV (*Partnership for a New Generation of Vehicles*), w skład którego weszły trzy największe wówczas amerykańskie koncerny samochodowe: Ford, General Motors i Chrysler oraz

Rząd USA (pokrywający w 50% koszty projektu). W ramach tego konsorcjum postawiono skonstruować w ciągu 10 lat samochód zużywający tylko trzy litry paliwa na 100 km. Pojazd miał zachować taki sam poziom bezpieczeństwa, komfort jazdy, dynamikę oraz cenę porównywalną z pięciomiejscowym amerykańskim samochodem osobowym średniej wielkości. Po sześciu latach intensywnych poszukiwań i wydatkowaniu ponad 2 mld dolarów okazało się, że stworzenie tak oszczędnego i ekologicznego pojazdu jest niemożliwe [8].

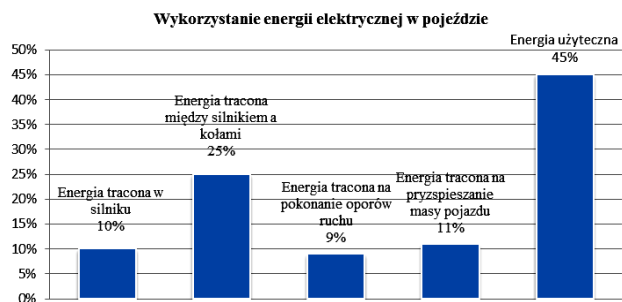
Prawa fizyki w obszarze termodynamiki okazały się zbyt trudne do pokonania.



Rys. 1. Procentowy wykres wykorzystania energii zawartej w paliwie w procesie przekształcania jej na energię mechaniczną wykorzystywaną do napędu samochodu z silnikiem spalinowym [7]

## 1. Zalety elektromobilności

Jedynym rozsądnym rozwiązaniem wyeliminowania szkodliwej emisji byłoby szybkie przejście na transport z napędem elektrycznym (umożliwiającym przekazywanie energii na koła pędne ze sprawnością rzędu 65%), który mógłby stać się idealnym rozwiązaniem problemu, ponieważ silnik elektryczny jest praktycznie bezemisyjny a pod względem sprawności w procesie zamiany energii elektrycznej na mechaniczną ponad czterokrotnie przewyższa silniki ciepłe (rys. 2).

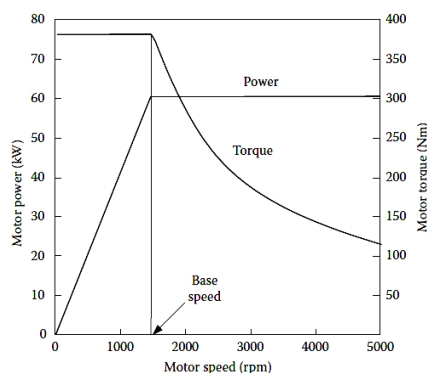


Rys. 2. Procentowy wykres wykorzystania energii elektrycznej w procesie przekształcania jej na energię mechaniczną wykorzystywaną do napędu samochodu elektrycznego [7]

Argumenty za powszechnym wprowadzeniem silników elektrycznych do napędu pojazdów są przekonujące. Silniki te spełniają w pojazdach potrójną rolę:

- przetwarzają ze sprawnością rzędu 90% (ponad trzy razy większą niż silniki ciepłe) energię elektryczną na mechaniczną napędzającą pojazd,
- umożliwiają hamowanie pojazdu (z możliwością zamiany energii hamowania na elektryczną gromadzoną w akumulatorach i superkondensatorach, czego nie umożliwiają pojazdy z silnikami spalinowymi, w których energia ta jest bezpowrotnie tracona),
- w trybie pracy generatorowej zamieniają kinetyczną energię mechaniczną na elektryczną (np. podczas jazdy z góry, zwalnianiu lub hamowaniu pojazdu).

Dzięki tym zaletom samochody elektryczne są niezwykle oszczędne w zużywaniu energii potrzebnej do ich napędu a przez to dużo tańsze w eksploatacji.



Rys. 3. Charakterystyki zmian momentu obrotowego i mocy silnika elektrycznego o mocy 60 kW, stosowanego w napędzie pojazdu elektrycznego [7]

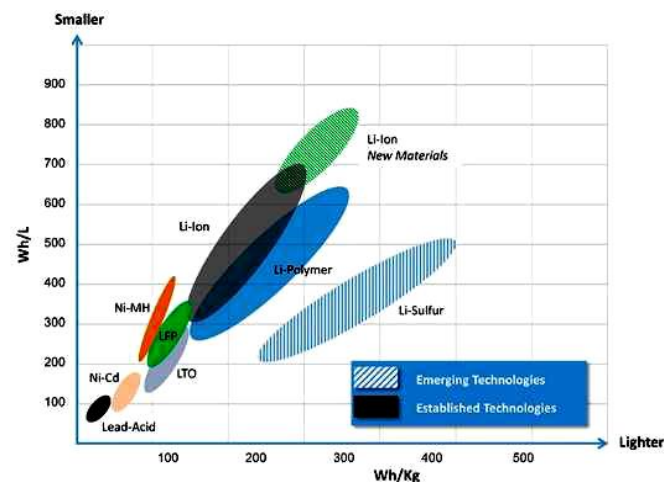
W odróżnieniu od zastosowań przemysłowych silniki wykorzystywane w napędach samochodów elektrycznych muszą spełniać szereg odmiennych wymogów. Silniki te muszą być często uruchamiane i zatrzymywane, muszą pozwalać na szybkie przyspieszanie i hamowanie pojazdów, charakteryzować się wysokim momentem obrotowym podczas rozruchu (rys. 3), przy małych prędkościach i podczas jazdy pod górę. Ponadto silniki muszą mieć szeroki zakres zmian prędkości obrotowej oraz posiadać odpowiednią i niezmienną w funkcji prędkości moc (rys. 3). Na rysunku 3 przedstawiono charakterystyki zmian mocy i momentu w funkcji prędkości obrotowej silnika o mocy 60 kW,

stosowanego do napędu pojazdów z napędem elektrycznym. Dzięki uzyskiwaniu maksymalnego momentu obrotowego praktycznie w momencie startu w samochodzie elektrycznym można praktycznie zrezygnować ze skrzyni biegów a w przypadku zastosowania silników w kołach pędnych również z mechanizmu różnicowego i układów sprzęgających silniki elektryczne z wałem pędnym, który staje się zbyteczny. Stała wartość mocy w szerokim zakresie zmian prędkości obrotowej ma duży wpływ na poprawę dynamiki napędzanego pojazdu, bez potrzeby redukcji biegów, często niezbędnej w takiej sytuacji w pojazdach z silnikami spalinowymi.

Zwolennicy silników ciepłych stawiają zarzut, że przy obecnych cenach źródeł energii napęd elektryczny w pojazdach nie jest ekonomiczny. Jeżeli rzetelnie przeliczyć koszty, uwzględniając stosunek energii włożonej do pozyskanej, to okazuje się, że najdalej (a więc i najtaniej) na jednym gigadżulu energii zainwestowanym w jej wytworzenie można w USA przejechać samochodem elektrycznym, bo aż 10 460 km, tradycyjnym benzynowym 5800 km, napędzanym benzyną z piasków bitumicznych 1770 km a benzyną z łupków 1450 km. Przebyta odległość obliczono z uwzględnieniem energii wymaganej do wytworzenia każdego z paliw a także gęstości energii zawartej w jej nośnikach a dla pojazdów elektrycznych koszt transmisji energii elektrycznej [4]. Porównując całkowitą sprawność energetyczną oraz względy ekonomiczne wynikające z wytworzenia energii potrzebnej do napędzania pojazdów wyraźną przewagę zyskują samochody z napędem elektrycznym.

## 2. Źródła energii w samochodach elektrycznych

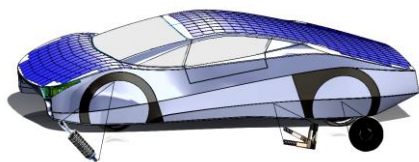
Najpoważniejszy problem w obszarze elektromobilności stanowi w samochodach elektrycznych konieczność zapewnienia odpowiednich źródeł bądź zasobników energii elektrycznej o wymaganej energii właściwej i wystarczającej jej gęstości, niezbędnej do umożliwienia przejazdu na jak najdłuższym dystansie (rys. 4). Dotyczy to tych samych parametrów w odniesieniu do mocy, zabezpieczającej pojazd wymagana dynamikę z uwagi na odpowiedni komfort i bezpieczną jazdę.



Rys. 4. Wykres obrazujący współczesne ogniwa elektrochemiczne do zastosowań w samochodach elektrycznych w zależności od ich energii właściwej (oś pozioma) i gęstości energii (oś pionowa)

Czynione są poszukiwania nowych rozwiązań, ale uzyskane na obecnym etapie wyniki nie są do końca zadowalające. Nadzieje związane z szybkim wprowadzeniem samochodów elektrycznych wykorzystujących ogniwa paliwowe okazały się przedwczesne, z dwóch podstawowych powodów: braku efektywnych i niedrogich katalizatorów oraz problemów z podstawowym paliwem, za które uznaje się wodór.

Prowadzi się także intensywne badania nad opanowaniem technologii dostarczania samochodom energii elektrycznej metodą bezprzewodową z wykorzystaniem zasady indukcji, ale jest jeszcze zbyt wcześnie, żeby można było powiedzieć, kiedy ona będzie mogła być powszechnie wdrożona.



Rys. 5. Koncepcyjny samochód elektryczny „Immortus” firmy EVX Ventures, technologicznego startupu z australijskiego Melbourne. Samochód wyposażony jest w panele słoneczne pokrywające 8 m² jego powierzchni [9]

W rozwiązaniach studyjnych dokonywane są próby zastosowania ogniw fotowoltaicznych (rys. 5), które mogłyby doładowywać zasobniki energii, ale na obecnym etapie wiedzy brakuje odpowiednio tanich i wystarczająco wydajnych ogniw, które mogłyby z powodzeniem zostać wykorzystane w pojazdach.

W roku ubiegłym na międzynarodowym salonie samochodowym w Genewie pokazano koło (rys. 6), w którym wydzielane ciepło i oddziaływania dynamiczne podczas użytkowania byłyby zamieniane na energię elektryczną gromadzoną w akumulatorach.



Rys. 6. Opony firmy GoodYear wyposażone w elementy termiczno-piezoelektryczne umożliwiające generowanie energii elektrycznej [10]

Pomimo wieloletnich zaniedbań i ograniczonych środków na badania zanotowano w ostatnim okresie czasu wiele rozwiązań baterii elektrochemicznych, które mogą być zastosowane w samochodach elektrycznych (tab. 1).

Tabela 1. Akumulatory stosowane w technice samochodowej

Typ akumulatora	Energia właściwa [Wh/kg]	Moc właściwa [W/kg]	Liczba cykli ładowania
Pb – A	35 – 50	150 – 400	500 – 1000
Ni – Fe	50 – 60	80 – 150	1500 – 2000
Ni – Zn	55 – 75	170 – 260	300
Ni – MH	70 – 95	200 – 300	750 – 1200
Zn – Air	100 – 220	30 – 80	>600
NaNiCl	90 – 120	130 – 160	>1200
Li – I	150 – 250	200 – 300	>1000
Li – P	200 – 300	250 – 350	600

Szczególnie ważnym parametrem akumulatorów elektrochemicznych jest ich czas ładowania. Udało się ten czas skrócić w ostatnich latach do tego stopnia, że praktycznie możliwe staje się ich wykorzystanie w pojazdach. Produkowane obecnie akumulatory litowo-jonowe można już naładować do 80% ich pojemności w czasie 15 minut, wykorzystując stacje ładowania wielkiej mocy, przy czym należy zauważyć, że większy prąd ładowania może powodować w istniejących rozwiązaniach szybszą degradację akumulatora.

W celu wyeliminowania straty czasu na doładowywanie baterii inżynierowie Tesli [6] zademonstrowali system, dzięki któremu dalsza jazda jest możliwa już po około 90 sekundach. Stworzyli oni specjalną „stację elektryczną”, która pozwala na błyskawiczną wymianę akumulatorów w czasie około 90 sekund. Wystarczy wjechać samochodem na odpowiedni podest i wyłączyć silnik. System sam wykryje nasze położenie i dopasuje mechanizm, który poprzez podwozie wyciągnie zainstalowane baterie i po chwili wymieni na nowe, w pełni naładowane. Kierowca nie musi nic robić.

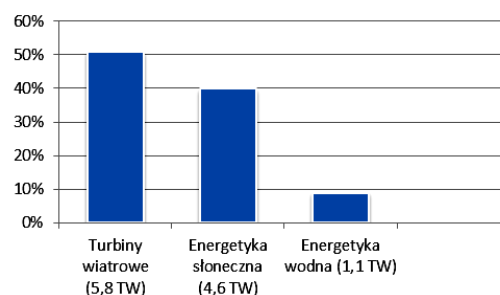
### 3. Elektromobilność a system WWS

W obecnym stanie światowej energetyki wprowadzenie globalnej elektromobilności może nie być do końca ekologiczne, ponieważ pojazdy elektryczne z elektrochemicznymi zasobnikami

energii wymagają do ich ładowania energii elektrycznej, która jest pozyskiwana głównie ze spalających paliwa kopalne elektrowni ciepłych, emitujących do atmosfery, ponad 34% globalnej emisji CO<sub>2</sub> (spowodowanej działalnością człowieka). Amerykańscy naukowcy ze Stanford University przez około 10 lat prowadzili badania w tym zakresie i na podstawie uzyskanych wyników twierdzą, że realne jest, aby do 2030 roku całą energię elektryczną na świecie produkować z odnawialnych źródeł energii wiatru, wody i słońca – tzw. systemu WWS (ang. **W**ind, **W**ater, **S**un), pod warunkiem, że przystąpi się w skali globalnej do jak najszybszego wdrażania go w życie [5].

Zgodnie z danymi *Energy Information Administration*, potencjalny poziom zużycia energii elektrycznej na świecie wymaga źródeł o łącznej mocy 12,5 TW. Gdyby zastosować wyłącznie odnawialne źródła WWS, to zapotrzebowanie to zmalałoby do 11,5 TW. Osiągnięto by to dzięki rezygnacji z procesu spalania, który pozwala praktycznie na pozyskanie nie więcej niż 40% energii zawartej w paliwie. Do roku 2030 szacuje się, że zapotrzebowanie na moc niezbędną do zaspokojenia wymaganego poziomu energii elektrycznej wzrośnie w tradycyjnym systemie elektroenergetycznym do 16,9 TW, co wymusiłoby wybudowania dodatkowo 13 tys. nowych, opalanych paliwami kopalnymi, elektrowni za ok. 10 bilionów dolarów, o ile nie przejdzie się na system WWS.

Prognozowane pokrycie światowego zapotrzebowania na moc (11,5 TW)



Rys. 7. Prognozowane pokrycie światowego zapotrzebowania na moc

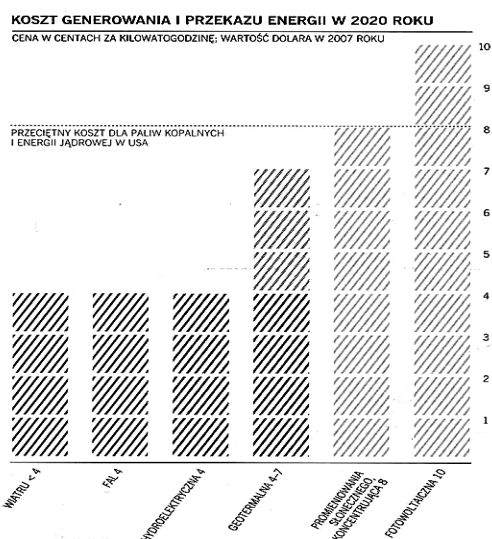
Szczegółowe badania wskazują, że przy istniejącym stanie wiedzy oraz znanych rozwiązaniach technologicznych, do produkcji energii elektrycznej można pozyskać moc wiatru rzędu 40 – 85 TW (z dostępnych 1700 – przy obecnym wykorzystaniu zaledwie 0,02 TW) oraz 580 TW (z możliwych do pozyskania 6500) mocy promieniowania słonecznego, której na dzień dzisiejszy wykorzystuje się zaledwie 0,008 TW [5].

Do pokrycia prognozowanego zapotrzebowania na moc rzędu 11,5 TW (rys. 7) należałoby uruchomić 3,8 mln turbin wiatrowych o mocy 5 MW każda. Pokryłyby one 51% (5,8 TW) zapotrzebowania na niezbędną moc. Kolejne 40% (4,6 TW) pochodziłoby z baterii fotowoltaicznych i systemów skupiających energię słoneczną w elektrowniach. Oznaczałoby to konieczność wybudowania 49 tys. elektrowni słonecznych o przeciętnej mocy 300 MW każda (rys. 7). Około 30% ogniw fotowoltaicznych można byłoby umieścić na dachach domów i budynków handlowych. Pozostałe 9% energii produkowałyby elektrownie wodne (70% z nich już istnieje). Całkowity koszt systemu WWS w ciągu 20 lat wyniósłby na świecie około 100 bilionów USD [5].

Zwolennicy elektrowni wykorzystujących ciepłe silniki spalinowe do napędu generatorów elektrycznych argumentują, że cena energii (przy uwzględnieniu kosztów wygenerowania i przesłania w sieci) będzie wyższa w systemie WWS. W roku 2009 w USA cena kilowatogodziny energii wiatru, geotermalnej i hydroelektrycznej wynosiła mniej niż 7 centów, z konwencjonalnych źródeł około 7 centów a cena energii pochodzącej z fal i słoneczna była nieco wyższa (rys. 8) [5]. W przyszłości te proporcje powinny zmienić się na korzyść energii elektrycznej pozyskiwanej w systemie WWS. Konkurencyjność cenowa energii pozyskiwanej w nim wzrasta szybko, jeżeli w obliczeniach kosztów uwzględni się przeliczone na pieniądze nakłady związane z uszczerbkami na zdrowiu ludzi,



szkodami wyrządzonymi w środowisku naturalnym i niekorzystnym wpływem na klimat.



Rys. 8. Szacunkowe koszty energii z zastosowaniem do 2020 systemu WWS i paliw kopalnych [5]

Przy rozsądnej polityce międzynarodowej już za 10 – 15 lat można będzie pozyskiwać z systemu źródeł WWS 25% energii a za 20 do 30 lat niemal 100%. Bardziej realna jest chyba perspektywa 40 – 50 lat [5]. Byłby to duży sukces, ponieważ za około 50 lat może zabraknąć węglowodorowych paliw kopalnych o cenie zbliżonej do obecnego poziomu [1].

W świetle tych faktów należy globalnie i w sposób systemowy podejść do zagadnienia ochrony atmosfery, aby skutecznie i szybko wyeliminować około 70% (spowodowanej działalnością człowieka) emisji CO<sub>2</sub> wrzucanego do atmosfery przez energetykę i transport, oparte głównie na ciepłnych silnikach spalinowych.

#### 4. Szanse rozwoju elektromobilności

Nie każdy być może wie, że pierwszym samochodem był pojazd elektryczny, który pojawił się na początku XIX wieku. Wyprzedził on prawie o 50 lat samochód napędzany silnikiem spalinowym, który ostatecznie na wiele lat ograniczył obszar stosowania pojazdów z napędem elektrycznym.

Pomimo konieczności przezwyciężenia wielu technicznych problemów oraz hamującego oddziaływania potężnego lobby paliwowo-silnikowego prace nad wprowadzeniem do powszechnego użytku samochodów elektrycznych wznowiono w wieku dwudziestym.

Model EV1 (*Electric Vehicle 1*) amerykańskiego koncernu General Motors produkowano seryjnie w latach 1996 – 1999. W tym okresie w gronie producentów samochodów elektrycznych pojawiły się japońskie koncerny samochodowe, które wprowadziły na rynek Hondę EV Plus i Toyotę RAV – 4 EV. W następnych 10-ciu latach do ciekawszych rozwiązań można zaliczyć Forda Think. Sukcesem było wdrożenie do produkcji w 2009 r. przez firmę Mitsubishi modelu iMIEV, którego do 2013 r. sprzedano ponad 30 tys. egzemplarzy. Miejski samochód iMiEV jest ekonomiczny, gdyż do przejechania 100 km wystarczy mu niewiele ponad 12 kWh energii, co oznacza od 3 do 9 razy mniejsze koszty jazdy, niż w przypadku spalinowego odpowiednika. Pojazd może przejechać do 160 km na jednym ładowaniu, a energię można uzupełnić na trzy różne sposoby: z gniazdka (ang. *plug in*), ze stacji szybkiego ładowania i z hamowania odzyskowego. Maksymalna prędkość wynosi 130 km/h. Wysoki moment obrotowy 180 Nm, dostępny w niskich zakresach prędkości obrotowej silnika o mocy 49 kW, powoduje, że pojazd charakteryzuje się dobrym przyspieszeniem. Czas ładowania od 0 do 80% wynosi 30 minut z systemu szybkiego trójfazowego ładowania (200 V, 50 kW, 250 A). Energia zgromadzona jest w akumulatorach wynosi 16 kWh.

Sukces marketingowy osiągnęło także kompaktowe elektryczne auto klasy C Nissan LEAF (ang. *Leading, Environmentally friendly, Affordable, Family car*), które uzyskało tytuł Światowego Samochodu Roku 2011 i osiągnęło wynik sprzedanych 100 tys. egzemplarzy to jest więcej, niż w tym czasie sprzedali wszyscy inni konkurenci.

W ostatnim okresie czasu za najciekawszą propozycję w dziedzinie samochodów elektrycznych należy uznać produkty amerykańskiej firmy Tesla Motors, która w 2008 r. wprowadziła do sprzedaży pierwszy model Tesla Roadster. W kwietniu 2016 r. przedstawiła w atrakcyjnej cenie 35 tys. dolarów propozycję czwartego z kolei (po Tesla Model S oraz Tesla Model X) produktu o nazwie Tesla Model 3. Umożliwić ma on przejechanie 350 km na jednym ładowaniu. Samochód dostępny będzie z trzema wariantami silników. Najtańszy napęd oferować będzie przyspieszenie do 100 km/h w około 6 sekund (moc przekazywana na tylne koła pędne). Mocniejsze odmiany pozwolą rozpedzić się do „setki” w 2,8 sekundy i oferować będą napęd na 4 koła.

Jeżeli uda się szybko zrealizować pomysł stworzenia sieci stacji automatycznej wymiany akumulatorów, to zniknie praktycznie ostatnia bariera powszechnego wdrożenia transportu drogowego opartego o napęd elektryczny. Tesla Motors przedstawiła rozwiązanie umożliwiające taką wymianę w przeciągu 90 sekund [6]. Należy oczywiście doprowadzić do takiej sytuacji, że dla przejechania takiego samego dystansu koszt wymiany akumulatorów w samochodzie elektrycznym powinien być porównywalny z obecnym kosztem zatankowania pojazdu z silnikiem spalinowym.

Oczywiście szybkie wdrożenie elektromobilności opartej na systemie WWS nie jest możliwe bez wsparcia finansowo-prawnego rządów państw, które powinny dążyć do wyeliminowania kosztownego w skutkach zatrzymywania atmosfery i środowiska naturalnego szkodliwymi produktami spalania emitowanymi przez ciepłe silniki spalinowe oraz nieekologicznej energetyki opartej na spalaniu paliw kopalnych.

## Literatura

- [1] BP, BP Statistical World Energy Review, 2014.
- [2] Chu J.: Study: Air pollution causes 200,000 early deaths each year in the U.S., MIT News Office, 2013.
- [3] Heywood J. B.: Tabor na diecie. Świat Nauki 182/2006, 34–38.
- [4] Inman M.: Prawdziwa cena paliw kopalnych. Świat Nauki 261/2013, 45–47.
- [5] Jacobson M. Z., Delucchi M. A.: Moc trzech żywiołów. Świat nauki 220/2009, 58–65.
- [6] Lawler R.: Tesla's 90 second battery swaps will power EVs faster than gas pumps fill tanks, <http://www.engadget.com/2013/06/21/tesla-motors-battery-swaps-faster-than-gas/>
- [7] Mehrdad E., Gao Y., Emadi A.: Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles. New York, CRC Press 2010.
- [8] Zorpette G.: W oczekiwaniu na pierwszą samochód. Świat Nauki 94/1999, 20–22.
- [9] <http://vpportal.pl/nowosci/6990/pierwszy-na-swiecie-samochod-sportowy-zasilany-wylacznie-slonce-m-czy-tak-będzie-wygladac-przyszlosc-motoryzacji>
- [10] <http://www.industrytap.com/goodyear-trying-make-tires-will-generate-electricity/35478>

**Dr hab. inż. Krzysztof Polakowski**  
e-mail: kp@zkue.ime.pw.edu.pl

Krzysztof Polakowski jest absolwentem Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. Już podczas studiów podjął pracę w macierzystej uczelni (Instytut Maszyn Elektrycznych), gdzie ukończył również doktorat i otrzymał stopień doktora habilitowanego. Jego zainteresowania badawcze związane są z modelowaniem w przestrzeni 3D z wykorzystaniem metod CAD i inżynierii elektrycznej samochodu. Odnosi się to również do zastosowań szeroko rozumianych tomografii. Jest współzałożycielem specjalizacji Elektrotechnika samochodowa na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej.



otrzymano/received: 15.06.2016

---

*przyjęto do druku/accepted: 01.06.2017*